

(51)

(19) BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

DEUTSCHES



PÄTENTAMT

Int. Cl. 2:

B 01 J 23-76

B 01 D 53-34

DT 24 33 479 A1

(11)

Offenlegungsschrift 24 33 479

(21)

Aktenzeichen: P 24 33 479.0-41

(22)

Anmeldetag: 12. 7.74

(43)

Offenlegungstag: 29. 1.76

(30)

Unionspriorität:

(32) (33) (31)

(54)

Bezeichnung:

Verfahren und Katalysator zur Entfernung von Stickstoffoxiden

(71)

Anmelder:

Hitachi Shipbuilding & Engineering Co. Ltd., Osaka (Japan)

(74)

Vertreter:

Stach, H., Dipl.-Chem. Dr., Pat.-Anw., 2000 Hamburg

(72)

Erfinder:

Inaba, Hideya; Onizuka, Shigenori; Kamino, Yasumi; Osaka (Japan)

Prüfungsantrag gem. § 28b PatG ist gestellt

DT 24 33 479 A1

Aktenzeichen: Neu anmeldung

Anmelderin: Hitachi Shipbuilding & Engineering Co., Ltd.

Verfahren und Katalysator zur Entfernung von Stickstoffoxiden

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur reduktiven Entfernung von Stickstoffoxiden aus Gasen durch Umsetzung an einem Katalysator in Gegenwart von Wasserstoff und/oder Kohlenmonoxid und/oder Methan und/oder Kohlenwasserstoffen oder eines einen oder mehrere dieser Stoffe als Hauptbestandteil enthaltenden Gases sowie einen Katalysator zur Durchführung dieses Verfahrens.

Die von verschiedenen Verbrennungsanlagen, chemischen Fabriken und Automobilen abgegebenen Stickstoffoxide bilden als Luftverunreiniger ein schwerwiegendes Problem, so daß ein starkes Bedürfnis besteht, entscheidende Maßnahmen zu deren Entfernung zu treffen. Entsprechende Untersuchungen werden an verschiedenen Stellen durchgeführt. Die Maßnahmen zur Entfernung der Stickstoffoxide (NO_x) können in zwei Gruppen eingeteilt werden, von denen die eine die Erzeugung von NO_x zu unterdrücken sucht und die andere das einmal entstandene NO_x in harmlose Verbindungen zu überführen trachtet. Innerhalb der ersten Gruppe wurden zweistufige Verbrennungsverfahren, Verbrennungsmethoden mit geringem Sauerstoffgehalt und Verfahren zur Abgasrückführung untersucht. Zu der zweiten Gruppe gehören ein Verfahren zur katalytischen Umwandlung in Stickstoff und ein Absorptionsverfahren zur Entfernung mittels einer absorbierenden Flüssigkeit. Diese Methoden haben zwar jeweils ihre eigenen Vor- und Nachteile, jedoch hat sich bisher kein Verfahren als industriell zufriedenstellend erwiesen.

Es sind zwar insgesamt sieben verschiedene Stickstoffoxide bekannt, von denen jedoch im wesentlichen nur NO und NO₂ als Luftverunreiniger auftreten, so daß diese gemeinsam als NO_x bezeichnet werden. Es wird angenommen, daß das NO_x bei normalen Abgasen 90 bis 95% oder mehr NO enthält und der Rest aus NO₂ besteht. Daher sind zur Entfernung von NO_x solche Maßnahmen geeignet, die mindestens NO wirksam entfernen können.

Aus der USA-Patentschrift 3 454 355 und einer Veröffentlichung von W. Bartok und A.R. Crawford "System Study of Nitrogen Oxide Control Methods for Stationary Sources", Endbericht, Band II, ESSO Research and Engineering Company & Government Research Laboratory (1969) ist ein Verfahren zur Entfernung von NO_x bekannt, bei welchem dieses an einem Katalysator mit einem Träger aus Aluminiumoxid und einem Gehalt an Kupfer, Platin oder einem anderen Metall mit Kohlenmonoxid, Wasserstoff oder Methan umgesetzt wird, um NO_x zu harmlosen Stickstoff zu reduzieren. Diese Methode erzeugt keine Nebenprodukte, kann ohne große Schwierigkeiten praktisch eingesetzt werden und besitzt daher gewisse Vorteile. Dem steht jedoch der Nachteil gegenüber, daß diese Katalysatoren bei der Behandlung von in der Praxis anfallenden Abgasen keine wirksame reduktive Entfernung von NO_x ergeben, da der Katalysator durch Sauerstoff, Feuchtigkeit und Schwefeldioxid vergiftet wird, die in den zu behandelnden Abgasen normalerweise vorhanden sind. Zur Verdeutlichung dieser Schwierigkeit wurde in einem Versuch ein typischer herkömmlicher Katalysator mit einem Gehalt an Kupfer auf einem Träger aus γ -Aluminiumoxid durchgeführt. Zur Herstellung dieses Katalysators wurde im Handel erhältliches γ -Aluminiumoxid auf eine Teilchengröße im Bereich zwischen 1,4 und 2,4 mm gesiebt, für eine vorbestimmte Zeit in eine wässrige Kupfernitratlösung eingetaucht, dann von der wässrigen Lösung abgetrennt, bei Temperaturen von 100 bis 120°C getrocknet und schließlich auf 540°C erhitzt. Der dabei

erhaltene Katalysator enthielt 5 Gew.% Cu. Die Reaktion wurde in einem Quarzrohr mit einem Innendurchmesser von 30 mm durchgeführt, das in einem Ringofen angeordnet war, wobei die Reaktionstemperatur auf einen vorbestimmten Temperaturwert eingestellt werden konnte. Die Reduktion von NO_x (in diesem Falle NO) mit CO und H_2 wurde in der Weise durchgeführt, daß zunächst das Reaktionsrohr mit dem Katalysator gefüllt und dann eine Stunde einer Behandlung mit Stickstoff bei 540°C ausgesetzt wurde. Das für den Versuch verwendete Reaktionsgas wurde durch Vermischen von in Bomben vorrätigem Mischgas ($\text{CO}+\text{N}_2$, H_2+N_2 , O_2+N_2 , $\text{NO}+\text{N}_2$ und SO_2+N_2) in der für den jeweiligen Versuch erforderlichen, vorbestimmten Konzentration hergestellt und dann in das Reaktionsrohr eingeführt. Das Mischgas aus O_2+N_2 wurde zur Befeuchtung vor dem Zusammenbringen mit den übrigen Mischgasen durch Wasser in einem Absorptionsbehälter hindurchgeleitet, der in einem thermostatisierten Wassertank auf einer vorbestimmten Temperatur gehalten wurde. Das Ausmaß der reduktiven Entfernung von NO wurde an der Einlaßöffnung und der Auslaßöffnung durch Gasanalysengeräte bestimmt. Zur Analyse des NO wurde ein NO_2 -Meßgerät der Firma Mast Company benutzt, wobei das NO in dem zu untersuchenden Gas durch eine Oxidationsvorrichtung zu NO_2 oxidiert und dann in das Analysengerät eingeführt wurde. Die Gehalte an SO_2 , CO und O_2 wurden unter Verwendung eines Infrarot-Analysengerätes der Firma Horiba Seisaku-Sho bzw. eines Infrarot-Analysengerätes der Firma Fuji Denki Seizo bzw. eines magnetischen Analysengerätes der Firma Simazu Seisaku-Sho kontinuierlich analysiert. Der Wasserstoffgehalt wurde durch einen Gaschromatographen der Firma Simazu Seisaku-Sho bestimmt. Zusätzlich wurde der Feuchtigkeitsgehalt berechnet.

In einer ersten Versuchsreihe wurde Kohlenmonoxid als Reduktionsmittel benutzt und mit einer Reaktionstemperatur von 540°C und einer Raumgeschwindigkeit (umgerechnet auf 20°C) von 10.000 h^{-1} gearbeitet. Die Zusammen-

setzung des verwendeten Reaktionsgases und die Ergebnisse sind in Tabelle I zusammengefaßt:

Tabelle I

Versuch	Zusammensetzung des Reaktionsgases (bezogen auf trockene Basis)					Entfernung von	
	CO %	O ₂ %	NO ppm	SO ₂ ppm	H ₂ O (bezogen auf feuchte Basis) %	NO %	SO ₂ %
A	0,75	0	300	2500	0	98	100
B	2,75	1,0	300	1500	10	0	0
C	2,57	0	280	0	0	100	-
D	2,57	1,1	280	0	10	0	-

In einer zweiten Versuchsreihe wurde Wasserstoff als Reduktionsmittel verwendet und bei einer Reaktionstemperatur von 450°C und einer Raumgeschwindigkeit (umgerechnet auf 20°C) von 10.000 h⁻¹ gearbeitet. Die Zusammensetzung des Reaktionsgases und die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle II zusammengestellt:

Tabelle II

Versuch	Zusammensetzung des Reaktionsgases (Rest: N ₂) (trockene Basis)				Entfernung von	
	H ₂ %	O ₂ %	NO ppm	H ₂ O (feuchte Basis) %	NO %	
E	1,0	0	500	0	100	
F	1,2	0,4	500	10	0	

Die in den vorstehenden Tabellen aufgeführten Ergebnisse zeigen, daß in Abwesenheit von O_2 und H_2O im Reaktionsgas eine im wesentlichen vollständige reduktive Entfernung von NO und SO_2 erreicht wird, der Katalysator jedoch bei einem Vorhandensein von O_2 und H_2O im Reaktionsgas jedoch seine Aktivität verliert. Dies trifft auch zu bei der gesonderten Reduktion von NO.

Die tatsächlichen Abgase von Verbrennungsanlagen, chemischen Anlagen und Automobilen enthalten jedoch abgesehen von SO_2 ohne Ausnahme auch O_2 und H_2O . Darüber hinaus ist es fast unmöglich, diese Gase, insbesondere H_2O zu entfernen, so daß dieser Katalysator nicht für die in der Praxis tatsächlich auftretenden Abgase benutzt werden kann. In weiteren Versuchen mit diesem Katalysator unter Verwendung eines Kohlenwasserstoffes wie CH_4 als Reduktionsmittel wurde ebenfalls festgestellt, daß der Katalysator unter der Einwirkung von O_2 und H_2O seine Aktivität verliert.

Aufgabe der Erfindung ist es nun, ein Verfahren und einen Katalysator zur Entfernung von Stickstoffoxiden der eingangs beschriebenen Art zu schaffen, welche die bisherigen Nachteile vermeiden und auf einfache Weise eine auch durch die Anwesenheit von O_2 und/oder H_2O unbeeinträchtigte Entfernung der Stickstoffoxide ermöglichen.

Zur Lösung dieser Aufgabe ist das Verfahren zur reduktiven Entfernung von Stickstoffoxiden der eingangs genannten Art dadurch gekennzeichnet, daß man einen Katalysator mit einem Träger aus Aluminiumoxid, einem Gehalt an Kupfer und einem oder mehreren Elementen aus den Gruppen der Alkali- und/oder Erdalkali- und/oder Übergangsmetalle sowie einem geringen Gehalt an Edelmetall, vorzugsweise Rhodium und/oder Ruthenium verwendet.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird das zu behandelnde Gas bei Temperaturen oberhalb von $300^\circ C$ umgesetzt an einem Katalysator mit einem Gehalt von:
509885/1059

- a) 3 bis 10 Gew.%, vorzugsweise 4,5 bis 8,5 Gew.% Kupfer,
- b) 2 bis 8 Gew.%, vorzugsweise 2,5 bis 6 Gew.% Magnesium oder Barium oder
 - 4 bis 10 Gew.%, vorzugsweise 5 bis 7 Gew.% mindestens eines der Elemente Chrom, Mangan, Eisen oder Molybdän oder
 - 0,1 bis 1,0 Gew.%, vorzugsweise 0,2 bis 0,5 Gew.% Kalium oder Praseodym sowie
- c) 0,005 bis 0,5 Gew.%, vorzugsweise 0,02 bis 0,1 Gew.% Rhodium und/oder Ruthenium.

Besonders bewährt hat sich die Verwendung eines Katalysators mit einem Gehalt von:

- a) 5,0 bis 6,0 Gew.% Kupfer,
- b) 3,0 bis 5,0 Gew.% Magnesium oder Barium oder
 - 5,0 bis 7,0 Gew.% Chrom, Mangan oder Eisen und
- c) 0,03 bis 0,08 Gew.% Rhodium und/oder Ruthenium.

Das zu behandelnde Gas wird zweckmäßig in Gegenwart von Kohlenmonoxid und/oder Wasserstoff bei Temperaturen zwischen 300 und 550°C oder in Gegenwart von Methan bei Temperaturen zwischen 590 und 700°C umgesetzt.

Gegenstand der Erfindung ist ferner ein Katalysator zur Durchführung des Verfahrens, der gekennzeichnet ist durch einen Träger aus Aluminiumoxid und einen Gehalt von

- a) 3 bis 10 Gew.%, vorzugsweise 4,5 bis 8,5 Gew.% Cu,
- b) 2 bis 8 Gew.%, vorzugsweise 2,5 bis 6 Gew.% Mg oder Ba oder
 - 4 bis 10 Gew.%, vorzugsweise 5 bis 7 Gew.% Cr,,Mn, Fe oder Mo oder
 - 0,1 bis 1,0 Gew.%, vorzugsweise 0,2 bis 0,5 Gew.% K oder Pr und
- c) 0,005 bis 0,5 Gew.%, vorzugsweise 0,02 bis 0,1 Gew.% mindestens eines Edelmetalles, vorzugsweise Rh und/oder Ru.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform enthält der Katalysator:

- a) 5,0 bis 6,0 Gew.% Cu
- b) 3,0 bis 5,0 Gew.% Mg oder Ba oder
5,0 bis 7,0 Gew.% Cr, Mn oder Fe und
- c) 0,03 bis 0,08 Gew.% Rh und/oder Ru.

Das erfindungsgemäße Verfahren und der erfindungsgemäße Katalysator ermöglichen unabhängig von der An- oder Abwesenheit von Sauerstoff und/oder Wasserdampf im Reaktionsgas eine zuverlässige Entfernung der Stickstoffoxide. Von den im Katalysator zusätzlich enthaltenen Elementen aus den Gruppen der Alkali- und/oder Erdalkalimetalle haben sich Gehalte an Kalium, Magnesium oder Barium als besonders geeignet erwiesen. Zu den Übergangsmetallen im Sinne der Erfindung gehören einerseits Übergangsmetalle der Hauptreihen und andererseits innere Übergangsmetalle und insbesondere einerseits die Übergangsmetalle Chrom, Mangan, Eisen und Molybdän und andererseits das innere Übergangsmetall Praseodym.

Im folgenden werden das erfindungsgemäße Verfahren und der erfindungsgemäße Katalysator anhand von Beispielen weiter erläutert.

Beispiel 1

Unter Verwendung der bei dem eingangs geschilderten Versuch verwendeten Ausrüstung wurde eine Versuchsreihe unter im wesentlichen gleichen Bedingungen durchgeführt, wobei jedoch jetzt verschiedene kupferhaltige Katalysatoren mit einem Träger aus Aluminiumoxid und einem zusätzlichen Gehalt an einem Alkali- oder Erdalkali-, oder Übergangsmetall verwendet wurden und jeweils Kohlenmonoxid, Wasserstoff oder Methan als Reduktionsmittel dienten. Dabei wurde beobachtet, daß zur Erzielung einer wirksamen Reduktion von NO bei Verwendung von CO oder H₂

Temperaturen von etwa 300°C oder darüber, bei Verwendung von CH₄ jedoch Temperaturen von 590°C oder darüber erforderlich waren. Aus diesem Grunde wurden die Versuche mit CO und H₂ bei 450°C und die Versuche mit CH₄ bei 600°C durchgeführt. Die Katalysatoren wurden jeweils in dem nach Erhitzen auf 540°C erlangten Zustand verwendet. Bei dem vorangegangenen Versuch wurde eine Reduktionsbehandlung mit Wasserstoff durchgeführt, jedoch zeigte sich im Ergebnis kein wesentlicher Unterschied, ausgenommen dem einer Aktivierungsperiode von maximal etwa einer Stunde vor Erreichung einer vorbestimmten, hohen Aktivität.

Bei den Versuchen mit Kohlenmonoxid wurde ein Reaktionsgas mit einem Gehalt von 13% CO₂, 13% H₂O, 1% CO, 0,4% O₂ und 500 ppm NO, Rest Stickstoff benutzt. Bei den Versuchen zur Reduktion mit Wasserstoff wurde ein Reaktionsgas mit einem Gehalt von 15% CO₂, 10% H₂O, 1,1% H₂, 0,4% O₂ und 500 ppm NO, Rest Stickstoff eingesetzt. Bei der Reduktion mit Methan enthielt das Reaktionsgas 13% CO₂, 10% H₂O, 2,3% CH₄, 4% O₂ und 500 ppm NO, Rest Stickstoff. Die Raumgeschwindigkeit (berechnet für 20°C) betrug in allen Fällen 10⁴ h⁻¹.

Die Zusammensetzung der verwendeten Katalysatoren und die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle III zusammengestellt. Die darin angegebenen Prozentzahlen für die Metalle entsprechen den analysierten Werten.

Tabelle III

Ver- such	Gehalt des Katalysators (Träger: Al_2O_3) an		NO-Entfernung bei Verwen- dung von		
	Cu %	Zusatzmetall %	CO %	H_2 %	CH_4 %
1A	5,3	4,4 Mg	100	100	95
1B	5,0	5,0 Ba	100	100	100
1C	5,0	0,2 K	90	89	80
1D	5,1	5,4 Cr	100	100	85
1E	8,1	5,1 Mu	100	100	90
1F	5,8	6,8 Fe	99	99	100
1G	5,6	6,8 Mo	89	85	85
1H	5,1	0,2 Pr	40	40	10

Die in der Tabelle enthaltenen Ergebnisse zeigen, daß die verwendeten Katalysatoren zu einer ausgezeichneten Stickstoffoxidentfernung führten. Wenn das verwendete Reaktionsgas jedoch 500 bis 1000 ppm SO_2 enthielt, wurden alle diese Katalysatoren allmählich durch SO_2 vergiftet und die Aktivität zur Reduktion von NO herabgesetzt. Wenn die Konzentration des jeweils verwendeten Reduktionsmittels extrem erhöht wurde, konnte noch eine gewisse NO-Entfernung im Bereich von etwa 30 bis 80% erreicht werden, jedoch wurde SO_2 gleichzeitig im wesentlichen vollständig zu H_2S und COS reduziert. Diese Katalysatoren können mit gutem Erfolg zur Behandlung von SO_2 -freiem Abgas dienen, erfordern jedoch bei SO_2 -haltigem Abgas eine vorhergehende Entfernung des SO_2 , um die Erzeugung von H_2S und COS zu verhindern.

Katalysatoren zur reduktiven Entfernung von Stickstoffoxiden aus Gasen sollten vorteilhaft gegen eine Einwirkung von im Reaktionsgas enthaltenem SO_2 immun sein und eine Aktivität besitzen, die keine Umwandlung von SO_2 in H_2S oder COS bewirkt.

Das Ausmaß der Beeinflussung der vorstehend beschriebenen Katalysatoren durch SO_2 ist unterschiedlich je nach der Art des neben Kupfer verwendeten Zusatzmetalles und der Kon-

509885/1059

zentration. Von den genannten Katalysatoren sind der Cu-Mg-Al₂O₃-Katalysator und der Cu-Mn-Al₂O₃-Katalysator gegen die Einwirkung von SO₂ relativ immun. Hinsichtlich der Cu-Mg-Al₂O₃-Katalysatoren wurden relativ gute Ergebnisse erzielt, wenn der Magnesiumgehalt etwa 3% betrug.

Beispiel 2

Zur Überprüfung der Auswirkungen einer Vergiftung durch SO₂ wurde daher ein Versuch mit einem Cu-Mg-Al₂O₃-Katalysator durchgeführt, der 5% Kupfer und 3% Magnesium enthielt. Die Versuchsbedingungen entsprachen denjenigen des Beispiels 1, wobei jedoch jetzt zur Beobachtung des SO₂-Einflusses mittels einer Spritze zuvor gesammeltes, reines SO₂ intermittierend mit vorbestimmter Geschwindigkeit unmittelbar vor dem Reaktionsrohr in das Reaktionsgas eingeführt wurde. Die Einfürgeschwindigkeit wurde so geregelt, daß der SO₂-Gehalt des Reaktionsgases etwa 1000 ppm betrug. Die Ergebnisse dieses Versuches sind in der beigefügten Fig. 1 grafisch dargestellt, in welcher auf der horizontalen Achse die Anzahl der SO₂-Injektionen und auf der senkrechten Achse die NO-Entfernung in Prozent aufgetragen ist. Das verwendete Reaktionsgas enthielt 15% CO₂, 13% H₂O, 1,1% H₂, 0,4% O₂ und 500 ppm NO, Rest Stickstoff. Die Reaktionstemperatur betrug 450°C und die Raumgeschwindigkeit, (berechnet für 20°C) 10⁴ h⁻¹.

Wie Fig. 1 zeigt, geht bei diesem mit Wasserstoff als Reduktionsmittel durchgeföhrten Versuch die NO-Entfernung von 100% auf etwa 40% zurück. Bei entsprechenden Versuchen unter Verwendung von CO oder CH₄ als Reduktionsmittel zeigte sich, daß praktisch keine Abweichungen im Ausmaß der Vergiftung durch SO₂ zu beobachten waren. Daraus ergibt sich, daß die SO₂-Vergiftung in Beziehung steht zum SO₂ und zum Katalysator, jedoch von der Art des reduzierenden Gases unabhängig ist.

Beispiel 3

Es ist bekannt, daß Katalysatoren mit einem Gehalt an einem Edelmetall, wie Platin, Ruthenium, Rhodium oder Palladium als Reduktionskatalysator wirksam sind und für verschiedene Kontaktreaktionen verwendet werden können. In einer Versuchsreihe wurden die Eigenschaften derartiger ~~Katalysatoren~~ bei der Reduktion von NO unter Verwendung der Ausrüstung und der Arbeitsweise der vorstehenden Beispiele untersucht, wobei jedoch ein von Sauerstoff freies Reaktionsgas mit einem Gehalt von 10% H₂O, 0,6% CO, 1700 ppm SO₂ und 300 ppm NO, Rest Stickstoff und eine Reaktionstemperatur von 540°C verwendet wurden. Die Raumgeschwindigkeit (berechnet für 20°C) betrug 5000 h⁻¹. Die Zusammensetzung der verwendeten Katalysatoren und die in den einzelnen Versuchsläufen erzielten Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle IV zusammengestellt.

Tabelle IV

Ver- such	Katalysator (Träger:Al ₂ O ₃)	Entfernung von		H ₂ S-Gehalt am Auslaß
		Zusatzmetall	NO %	SO ₂ %
	%		ppm	
3A	0,5 Ru	40	88	1410
3B	0,5 Rh	17	83	1420
3C	0,5 Pd	10	84	1400
3D	0,5 Pt	16	73	1200

Die Ergebnisse zeigen, daß das Ausmaß der NO-Entfernung zwar niedrig liegt, jedoch aufrecht erhalten bleibt. Darauf hinaus liegt die SO₂-Umwandlung zwischen etwa 70 und 90% und der H₂S-Gehalt im austretenden Gas zwischen 1200 und 1420 ppm. Daneben wurden noch Spuren COS beobachtet. Bei ähnlichen Versuchen unter Verwendung von Wasserstoff als Reduktionsmittel wurde SO₂ ebenfalls in H₂S umgewandelt.

Bei weiteren Versuchen zur Reduktion von NO_x mit einem von SO_2 freien Reaktionsgas ergab sich bei der Verwendung von CO oder H_2 als Reduktionsmittel eine Bildung von NH_3 im Reaktionsgas, so daß das Ziel einer Umwandlung von NO_x in harmlose Produkte nicht erreicht wurde. Bei der Reduktion mit CO wird angenommen, daß die Bildung von NH_3 darauf zurückgeht, daß die Reaktion zwischen CO und H_2O zur Bildung von H_2 führt, das mit NO zu NH_3 reagiert.

Katalysatoren mit einem Gehalt an Edelmetall auf einem Träger aus γ -Aluminiumoxid tritt daher in der vorstehend beschriebenen Weise eine Umwandlung des SO_2 oder eine Umwandlung von NO in NH_3 ein und darüber hinaus wird in Gegenwart von SO_2 keine hinreichende Aktivität zur Reduktion von NO erreicht. Derartige Katalysatoren sind daher für eine industrielle Verwendung nicht zufriedenstellend.

Beispiel 4

In einer weiteren Versuchsreihe wurden Katalysatoren mit einem Träger aus Aluminiumoxid untersucht, die neben einem oder mehreren Alkali-, Erdalkali- oder Übergangsmetallen geringe Mengen an Edelmetall enthielten.

Zur Herstellung der Katalysatoren wurde ein Katalysator mit einem Al_2O_3 -Träger (Teilchengröße 1,4 bis 2,4 mm, gebrochenes Produkt) mit einem Gehalt von 5% Cu und 3% Mg jeweils mit einer wässrigen Lösung eines Salzes von Ru, Rh, Pd oder Pt imprägniert. Die erhaltenen Katalysatoren enthielten 0,051% Ru bzw. 0,051% Rh bzw. 0,053% Pd bzw. 0,052% Pt. Die beim Versuch verwendete Ausrüstung und die Arbeitsweise entsprach im wesentlichen den Beispielen 1 bis 3. Als Reduktionsmittel wurde CO verwendet. Das Reaktionsgas enthielt 13% CO_2 , 10% H_2O , 1% CO, 0,4% O_2 und 600 ppm NO, Rest Stickstoff. Die Reaktionstemperatur betrug 450°C und die Raumgeschwindigkeit (berechnet

für 20°C) 10^4 h^{-1} . Der Einfluß von SO₂ wurde wiederum durch intermittierendes Einspritzen bestimmt. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in Fig. 2 grafisch dargestellt. Diese zeigt, daß der Pt-Cu-Mg-Al₂O₃-Katalysator und der Pd-Cu-Mg-Al₂O₃-Katalysator in ihrer Wirksamkeit zur Entfernung von NO durch SO₂ noch stärker beeinträchtigt wurden, als der entsprechende edelmetallfreie Cu-Mg-Al₂O₃-Katalysator. Demgegenüber wurden der Rh-Cu-Mg-Al₂O₃-Katalysator und der Ru-Cu-Mg-Al₂O₃-Katalysator überraschenderweise durch die Einführung von SO₂ in ihrer NO-Reduktionswirkung in keiner Weise beeinträchtigt und ergaben jeweils eine vollständige Entfernung von NO. Die Tatsache, daß bei Zugabe von Rh oder Ru sehr gute Ergebnisse erzielt wurden, während die Zugabe von Pt oder Pd keine guten Resultate lieferte, war völlig unerwartet und zeigt, daß die einfache Zugabe geringer Mengen Edelmetall zur Vermeidung einer SO₂-Vergiftung allein noch nicht wirksam ist.

Beispiel 5

In weiteren Vergleichsversuchen wurde der Rh-Cu-Mg-Al₂O₃-Katalysator mit einem Gehalt von 0,051% Rh in Verbindung mit H₂ bzw. CH₄ als Reduktionsmittel eingesetzt. Bei Verwendung von Wasserstoff als Reduktionsmittel enthielt das verwendete Reaktionsgas 15% CO₂, 10% H₂O, 1,1% H₂, 0,4% O₂, 600 ppm SO₂ und 500 ppm NO, Rest Stickstoff. Bei Verwendung von Methan als Reduktionsmittel enthielt das Reaktionsgas 13% CO₂, 10% H₂O, 2,5% CH₄, 4% O₂, 600 ppm SO₂ und 500 ppm NO, Rest Stickstoff. Die Raumgeschwindigkeit (berechnet für 20°C) betrug in beiden Fällen 10^4 h^{-1} . Die Ergebnisse dieser Versuche sind in den Fig. 3 und 4 grafisch dargestellt. Wie diese Fig. zeigen, wurde der Katalysator durch die Anwesenheit SO₂ in keiner Weise beeinträchtigt und eine äußerst wirksame Entfernung von NO_x erzielt, sofern die Reaktionstemperatur bei Verwendung von Wasserstoff als Reduktionsmittel ober-

halb von 300°C und bei Verwendung von Methan als Reduktionsmittel oberhalb von 600°C lag. Diese Reaktionstemperaturen sind ebenso überlegen, wie die mit einem Cu-Mg-Al₂O₃-Katalysator und einem SO₂-freien Gas erzielten Ergebnisse.

Diese Versuche wurden jeweils kontinuierlich über 50 Stunden ausgedehnt, während derer die Katalysatoren selbst keinerlei Anzeichen einer Beeinträchtigung zeigten. Darüber hinaus wurde der SO₂-Gehalt an der Auslaßseite analysiert und dabei beobachtet, daß während der Anfangsphase des Versuchs eine Verringerung des SO₂-Gehaltes durch Adsorption am Katalysator eintrat, jedoch etwa zwei Stunden nach dem Beginn des Gasdurchtritts die SO₂-Gehalte am Einlaß und am Auslaß übereinstimmten. Es wurde beobachtet, daß ebenso wie bei dem beschriebenen edelmetallhaltigen Al₂O₃-Katalysator fast keine Umwandlung in H₂S und keine Bildung von NH₃ durch übermäßige Reduktion von NO auftrat. Der erfundungsgemäße Katalysator erfüllt somit alle Eigenschaften für einen erfolgreichen industriellen Einsatz.

Beispiel 6

In einem weiteren Versuch wurde ein Rh-Cu-Mg-Al₂O₃-Katalysator mit einem sehr geringen Edelmetallgehalt von 0,005% Rh benutzt. Als Reduktionsmittel wurde H₂ verwendet und das Reaktionsgas enthielt 11% CO₂, 10% H₂O, 1,2% H₂, 0,4% O₂, 700 ppm SO₂ und 700 ppm NO, Rest Stickstoff. Die Reaktionstemperatur betrug 450°C und die Raumschwindigkeit (berechnet für 20°C) 10⁴ h⁻¹. Die Ergebnisse dieses Versuches sind in Fig. 5 grafisch dargestellt. Dies zeigt, daß das Ausmaß der reduktiven NO-Entfernung 40 Stunden nach Versuchsbeginn konstant wird. Es wurde somit ein Unterschied beobachtet gegenüber dem im Beispiel 5 durchgeföhrten Versuch mit einem 0,051% Rh enthaltenen Katalysator, bei welchem das Ausmaß der reduktiven NO-Entfernung durchweg auf 100% gehalten wurde. Während der Zeit wurde in dem aus dem Reaktionsrohr ausströmenden Gas weder H₂S, noch NH₃ festgestellt.

Vorstehend wurden die Ergebnisse von Versuchen von Cu-Mg-Al₂O₃-Katalysatoren mit geringem Gehalt an Rh oder Ru aufgeführt. In entsprechenden Versuchen mit anderen Katalysatoren, die einen geringen Gehalt an Rh oder Ru auf einem Katalysator mit einem Gehalt an Cu und Alkali-, Erdalkali- oder Übergangsmetallen enthalten, wie beispielsweise Cu-K-Al₂O₃, Cu-Ba-Al₂O₃, Cu-Cr-Al₂O₃, Cu-Mn-Al₂O₃ oder Cu-Mo-Al₂O₃, wurden im wesentlichen die gleichen Ergebnisse erzielt, wie bei den Katalysatoren des Cu-Mg-Al₂O₃-Typs, obgleich größere oder kleinere Unterschiede im Ausmaß der reduktiven Entfernung von NO auftraten. Dabei neigte der Katalysator mit einem Gehalt an Edelmetall auf einem als Träger verwendeten, edelmetallfreien Katalysator, d.h. Cu-Me-Al₂O₃, der durch SO₂ weniger beeinflußt wird, zu einem höheren Ausmaß an reduktiver Entfernung von NO_x.

Die in den vorstehend beschriebenen Beispielen verwendeten Katalysatoren wurden nach dem sogenannten Tauchverfahren hergestellt, bei welchem γ -Aluminiumoxid in eine wässrige Lösung eines Salzes des aufzubringenden Metalles eingetaucht wurde. Die Herstellung der Katalysatoren ist jedoch nicht auf das Tauchverfahren beschränkt. In der Tat werden auch gute Ergebnisse erzielt bei Verwendung eines Katalysators, bei welchem Cu und Rh oder Ru durch Imprägnation aufgebracht wurden auf Me-Al₂O₃ (woin Me für ein oder mehrere Alkali- und/oder Erdalkali- und/oder Übergangsmetalle steht), das durch gemeinsame Fällung oder nach dem Knetverfahren hergestellt wurde. Weiterhin erwiesen sich auch solche Katalysatoren als wirksam, die durch Imprägnation aufgebrachtes Rh oder Ru auf einem durch gemeinsame Fällung oder nach dem Knetverfahren erhaltenen Cu-Me-Al₂O₃-Träger aufwiesen. Die hierin verwendeten Bezeichnungen "tragen" bzw. "Träger" bedeuten daher keine Beschränkung ^{auf} auch nach dem Tauchverfahren hergestellte Katalysatoren.

In den vorstehenden Beispielen wurden H₂, CH₄ oder CO als Reduktionsmittel benutzt, wobei lediglich bei CH₄ eine Erhöhung der Reaktionstemperatur erforderlich war, während bei CO und H₂ keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der Reaktionstemperatur erforderlich war, während bei CO und H₂ keine wesentlichen Unterschiede hinsichtlich der Reaktionstemperatur bestanden.

In den Versuchen wurde Methan als typisches Beispiel eines Kohlenwasserstoffes verwendet. Es ist jedoch bekannt, Kohlenwasserstoffe als Reduktionsmittel einzusetzen. So gehört nach einer Veröffentlichung von J.W. Ault, R.J. Ayen et al. (A.I.C.H.E. Journal, Band 17, 1971, Heft 2, Seiten 265 bis 271) Methan unter den Kohlenwasserstoffen zu einer Gruppe mit der geringsten Reduktionskraft. Bei Verwendung eines erfindungsgemäßen Katalysators kann daher auch bei einem Ersatz von Methan durch andere Kohlenwasserstoffe eine hinreichende reduktive Entfernung von NO_x erzielt werden. Die Verwendung dieser Gase, nämlich Wasserstoff, Kohlenwasserstoffe, Kohlenmonoxid und andere einzelne Gase ermöglichen die reduktive Entfernung von NO_x in einer industriell zufriedenstellenden Weise. Stattdessen können jedoch auch technische Gase, wie beispielsweise Stadtgas verwendet werden, welche die vorgenannten Gase als Hauptbestandteile enthalten.

Die Eigenschaften der erfindungsgemäßen Katalysatoren, d.h. der Rh-Cu-Me-Al₂O₃-Katalysatoren und der Ru-Cu-Me-Al₂O₃-Katalysatoren (worin Me für ein oder mehrere Erdalkali-, Alkali- oder Übergangsmetalle steht) können in der folgenden Weise zusammengefaßt werden:

- a) sie besitzen eine sehr hohe Aktivität, ergeben eine stabile reduktive Entfernung von NO_x und werden nicht vergiftet durch O₂, H₂O und durch SO₂, die in den in der Praxis auftretenden Gasen stets enthalten sind.
- b) SO₂ kann die erfindungsgemäßen Katalysatoren unverändert passieren und wird nicht in andere Stoffe umge-

wandelt.

- c) Die Reduktion von NO_x endet mit der Bildung von N_2 und es tritt kein NH_3 als Nebenprodukt auf.
- d) Als Reduktionsmittel können H_2 , CO und Kohlenwasserstoffe, wie CH_4 sowie technische Gase dienen, welche diese Gase als Hauptbestandteile enthalten.
- e) Die Katalysatoren können auf einfache Weise hergestellt werden und erfordern im Betrieb keine vorbereitenden Behandlung, wie beispielsweise eine H_2 -Reduktionsbehandlung.

Die erfindungsgemäßen Katalysatoren besitzen somit zahlreiche Vorteile und insbesondere eine technische Überlegenheit bei der Verwendung zur Reduktion oder Unschädlichmachung der Stickstoffoxide in den Abgasen von Dampfkraftwerken, Verbrennungsanlagen verschiedener Art, chemischen Anlagen, etc.

509885 / 1059

·98.

Aktenzeichen: Neu anmeldung

Anmelderin: Hitachi Shipbuilding & Engineering Co., Ltd.

PATENTANSPRÜCHE

- 1) Verfahren zur reduktiven Entfernung von Stickstoffoxiden aus Gasen durch Umsetzung an einem Katalysator in Gegenwart von Wasserstoff und/oder Kohlenmonoxid und/oder Methan und/oder anderen Kohlenwasserstoffen oder eines einen oder mehrere dieser Stoffe als Hauptbestandteil enthaltenden Gases, dadurch gekennzeichnet, daß man einen Katalysator mit einem Träger aus Aluminiumoxid, einem Gehalt an Kupfer und einem oder mehreren Elementen aus den Gruppen der Alkali- und/oder Erdalkali- und/oder Übergangsmetallen sowie einem geringen Gehalt an Edelmetall, vorzugsweise Rhodium und/oder Ruthenium verwendet.
- 2) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß man das zu behandelnde Gas bei Temperaturen oberhalb von 300°C an einem Katalysator mit einem Gehalt von:
 - a) 3 bis 10 Gew.%, vorzugsweise 4,5 bis 8,5 Gew.% Kupfer,
 - b) 2 bis 8 Gew.%, vorzugsweise 2,5 bis 6 Gew.% Magnesium oder Barium oder
4 bis 10 Gew.%, vorzugsweise 5 bis 7 Gew.% mindestens eines der Elemente Chrom, Mangan, Eisen oder Molybdän oder
0,1 bis 1,0 Gew.%, vorzugsweise 0,2 bis 0,5 Gew.% Kalium oder Praseodym sowie
 - c) 0,005 bis 0,5 Gew.%, vorzugsweise 0,02 bis 0,1 Gew.% Rhodium und/oder Ruthenium umgesetzt.
- 3) Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß man einen Katalysator verwendet mit einem Gehalt von:

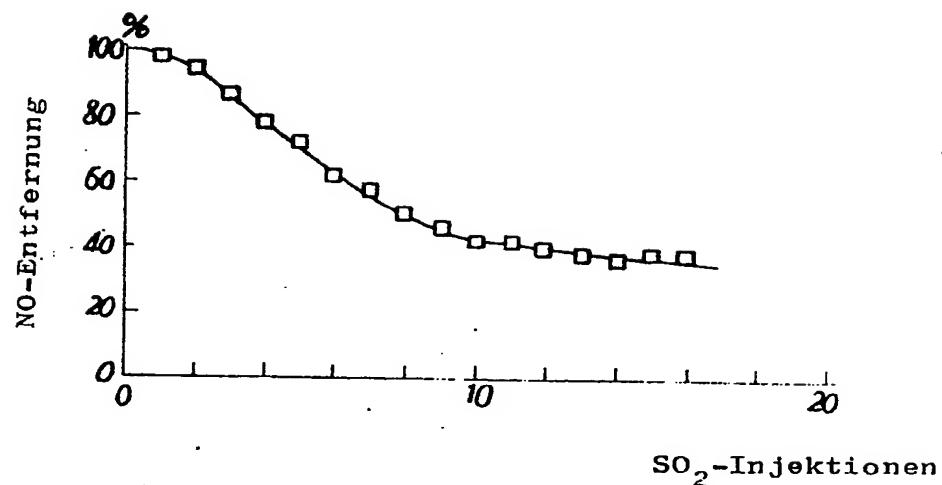
. 19 .

- a) 5,0 bis 6,0 Gew.% Kupfer,
 - b) 3,0 bis 5,0 Gew.% Magnesium oder Barium oder
5,0 bis 7,0 Gew.% Chrom, Mangan oder Eisen und
 - c) 0,03 bis 0,08 Gew.% Rhodium und/oder Ruthenium.
- 4) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß man das zu behandelnde Gas in Gegenwart von Kohlenmonoxid und/oder Wasserstoff bei Temperaturen zwischen 300 und 550°C umsetzt.
- 5) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß man das zu behandelnde Gas in Gegenwart von Methan bei Temperaturen zwischen 590 und 700°C umsetzt.
- 6) Katalysator zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 5, gekennzeichnet durch einen Träger aus Aluminiumoxid und einen Gehalt von
 - a) 3 bis 10 Gew.%, vorzugsweise 4,5 bis 8,5 Gew.% Cu,
 - b) 2 bis 8 Gew.%, vorzugsweise 2,5 bis 6 Gew.% Mg oder Ba oder
4 bis 10 Gew.%, vorzugsweise 5 bis 7 Gew.% Cr, Mn, Fe oder Mo oder
0,1 bis 1,0 Gew.%, vorzugsweise 0,2 bis 0,5 Gew.% K oder Pr und
 - c) 0,005 bis 0,5 Gew.%, vorzugsweise 0,02 bis 0,1 Gew.% mindestens eines Edelmetalles, vorzugsweise Rh und/oder Ru.
- 7) Katalysator nach Anspruch 6, gekennzeichnet durch einen Gehalt von:
 - a) 5,0 bis 6,0 Gew.% Cu
 - b) 3,0 bis 5,0 Gew.% Mg oder Ba oder
5,0 bis 7,0 Gew.% Cr, Mn oder Fe und
 - c) 0,03 bis 0,08 Gew.% Rh und/oder Ru.

509885 / 1059

2433479
-23-

FIG. 1



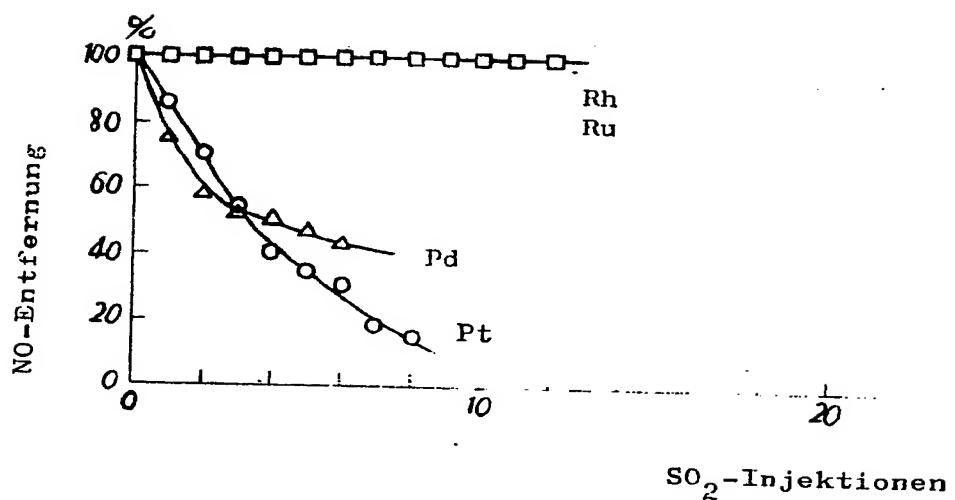
B01J 23-76 AT:12.07.1974 OT:29.01.1976

509885 / 1059

2433479

-30-

FIG. 2



509885 / 1059

2433479

21.

FIG. 3

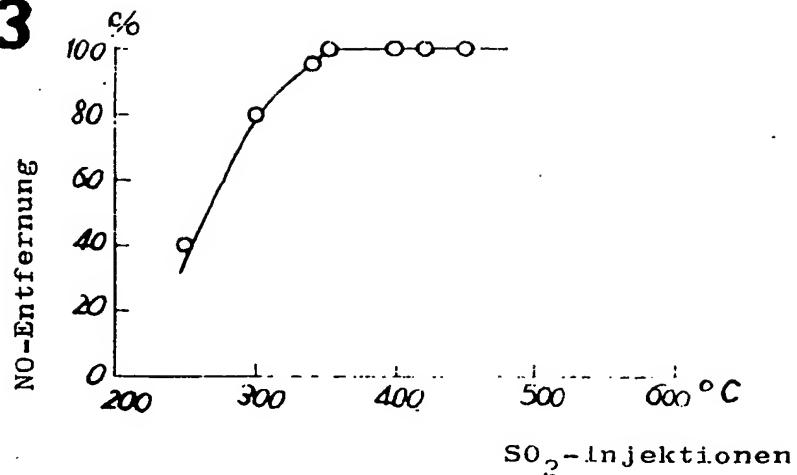
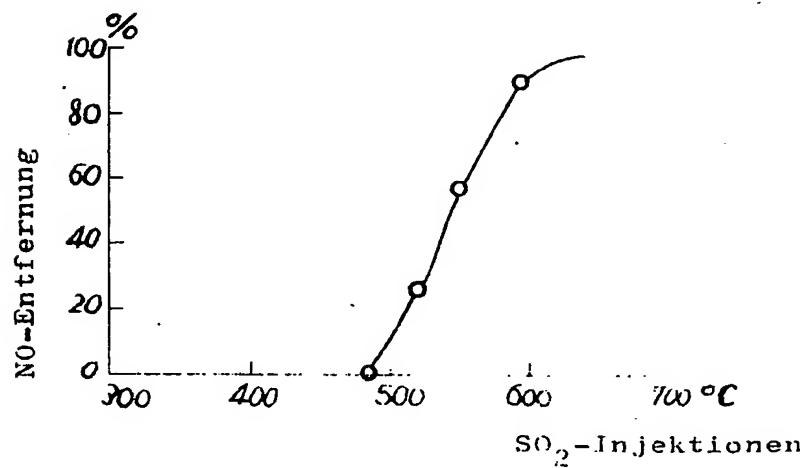


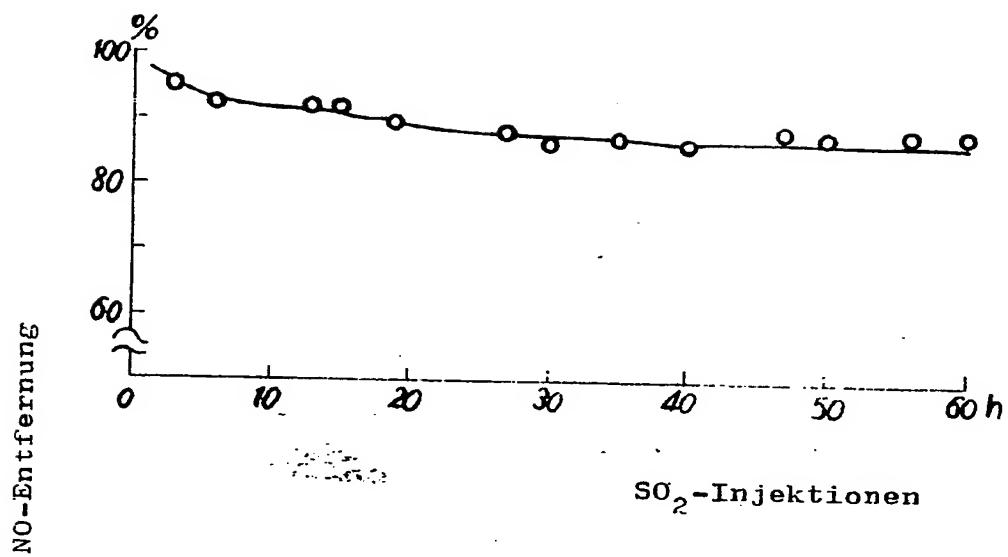
FIG. 4



509885 / 1059

2433479

FIG. 5



509885/1059